

Aula 18

Máquina de Estados Parte 2

SEL 0414 - Sistemas Digitais

Prof. Dr. Marcelo Andrade da Costa Vieira

Exemplo de Projetos

Síntese de Circuitos Sequenciais

Exemplo de Projeto:

- Contador binário síncrono Up / Down
- Módulo 4;
- Entradas = 1 (0 = UP e 1 = DOWN)
- Saídas = 2
- Sequência Up: (00 – 01 – 10 – 11 – 00 – 01 ...)
- Sequência Down: (00 – 11 – 10 – 01 – 00 – 11..)

Número de Estados?

4

Modelo?

Moore

Exemplo: Contador Up/Down

Tabela de Transição de Estados

Entrada X_0	Estado Atual $Q_1 Q_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$
0	A	B
0	B	C
0	C	D
0	D	A
1	A	D
1	B	A
1	C	B
1	D	C

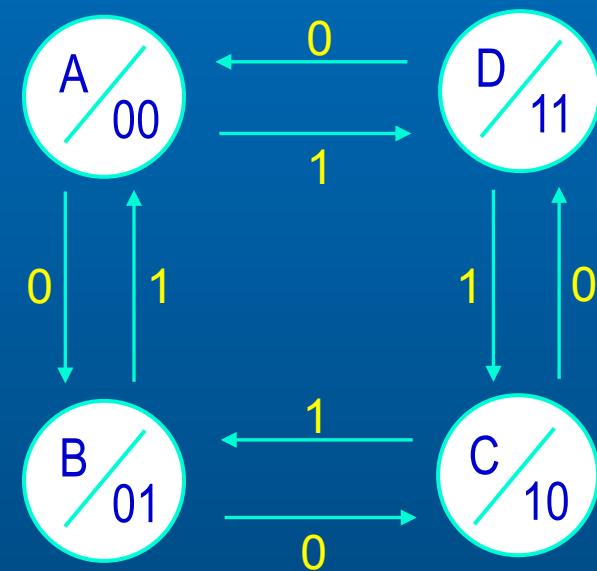
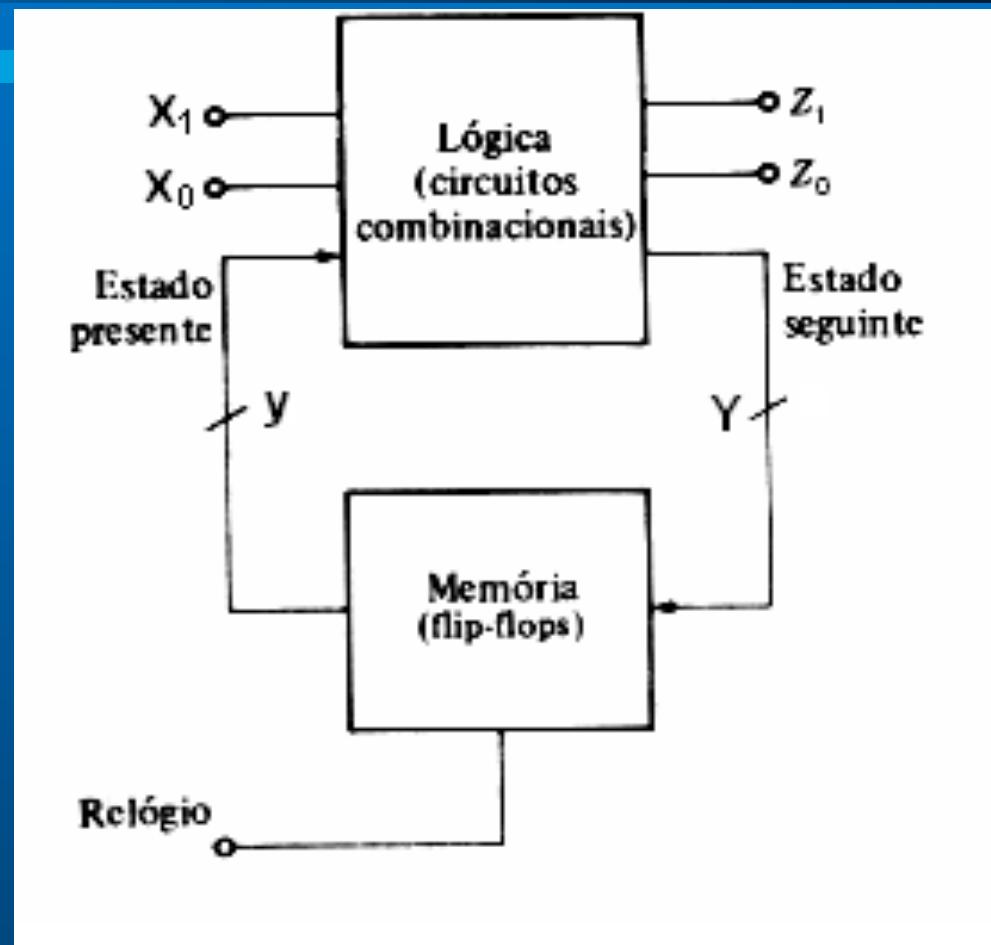


Diagrama de Estados

Formas de Representação

Tabela de Atribuição de Estados

Estado	Flip-Flop $Q_1 Q_0$
A	0 0
B	0 1
C	1 0
D	1 1



Saídas dos Flips-Flops (Q) = Estado Presente (y) = Saída (Z)

Formas de Representação

Tabela de Transição de Estados

Entrada X_0	Estado Presente Q_1Q_0	Próximo Estado Y_1Y_0
0	0 0	0 1
0	0 1	1 0
0	1 0	1 1
0	1 1	0 0
1	0 0	1 1
1	0 1	0 0
1	1 0	0 1
1	1 1	1 0

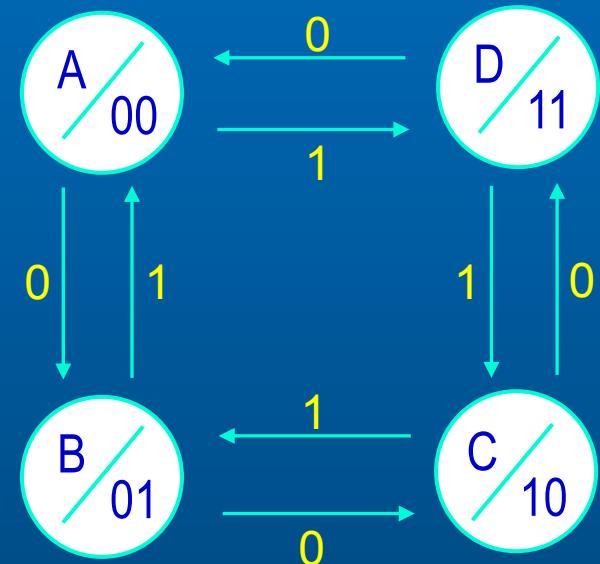
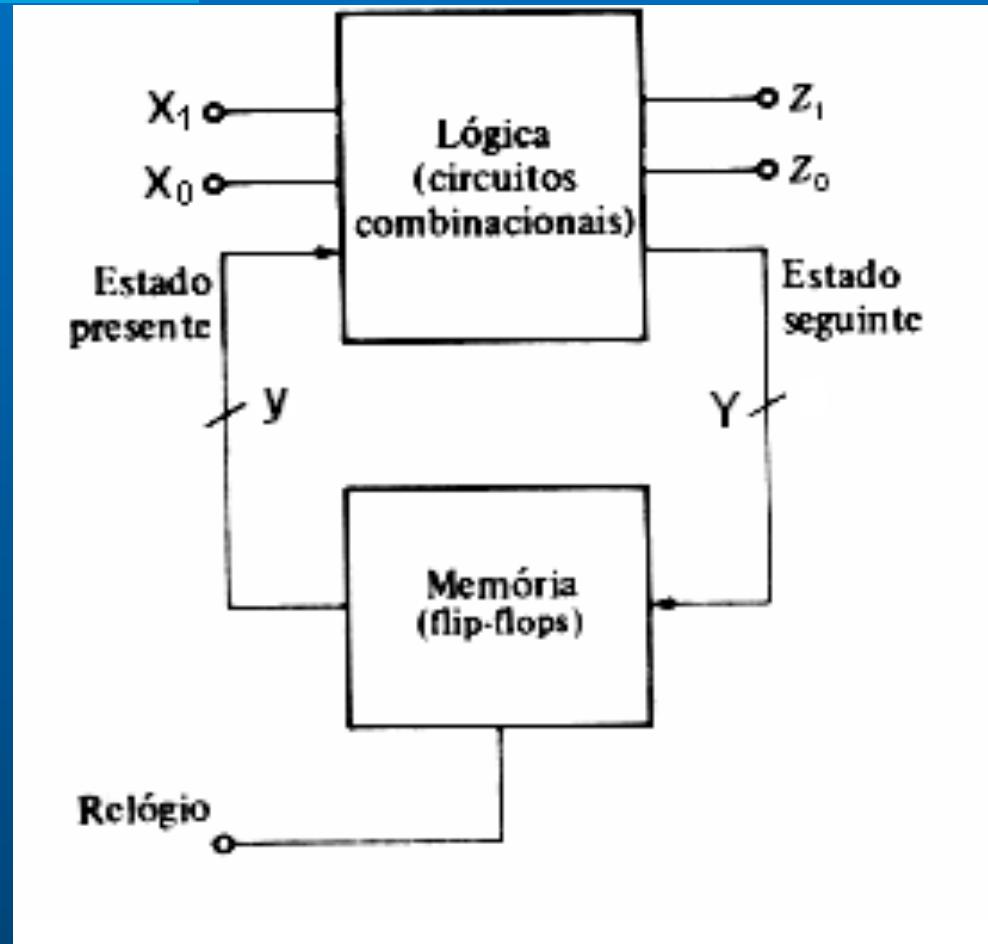


Diagrama de Estados

Formas de Representação

Tabela de Saída

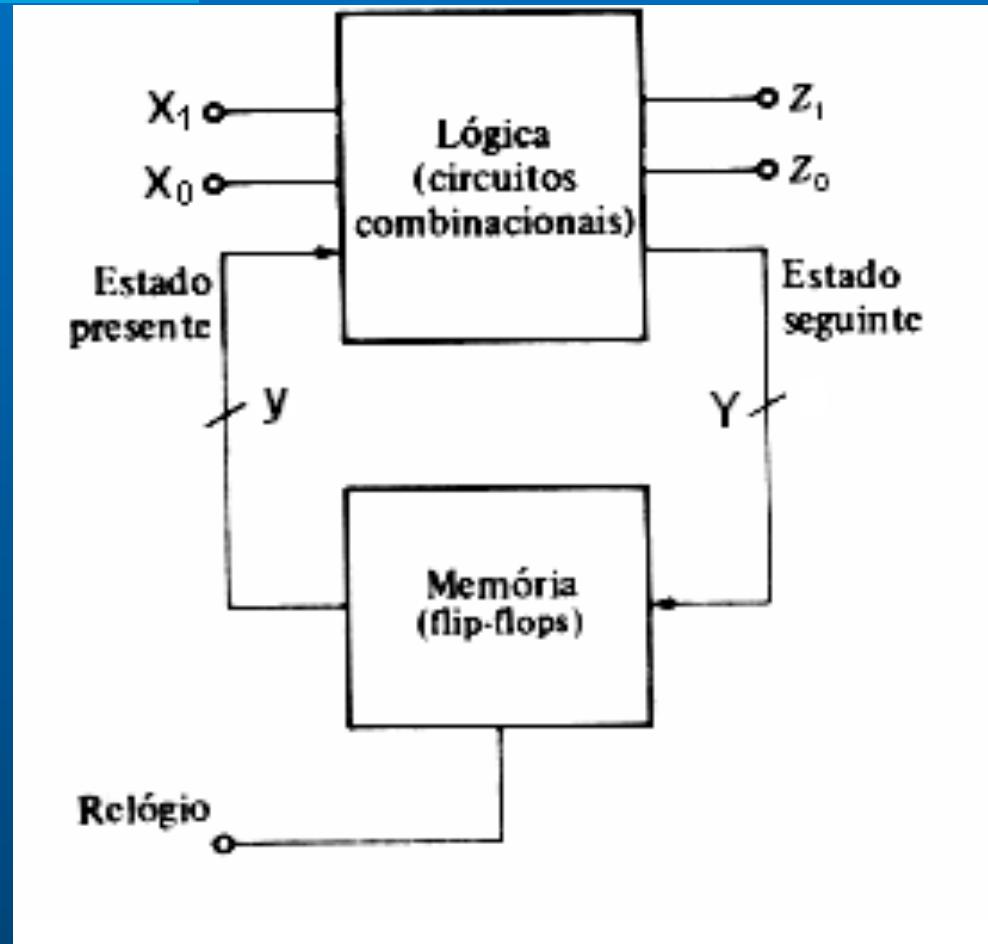
Estado Presente	Saída $Z_1 Z_0$
A	0 0
B	0 1
C	1 0
D	1 1



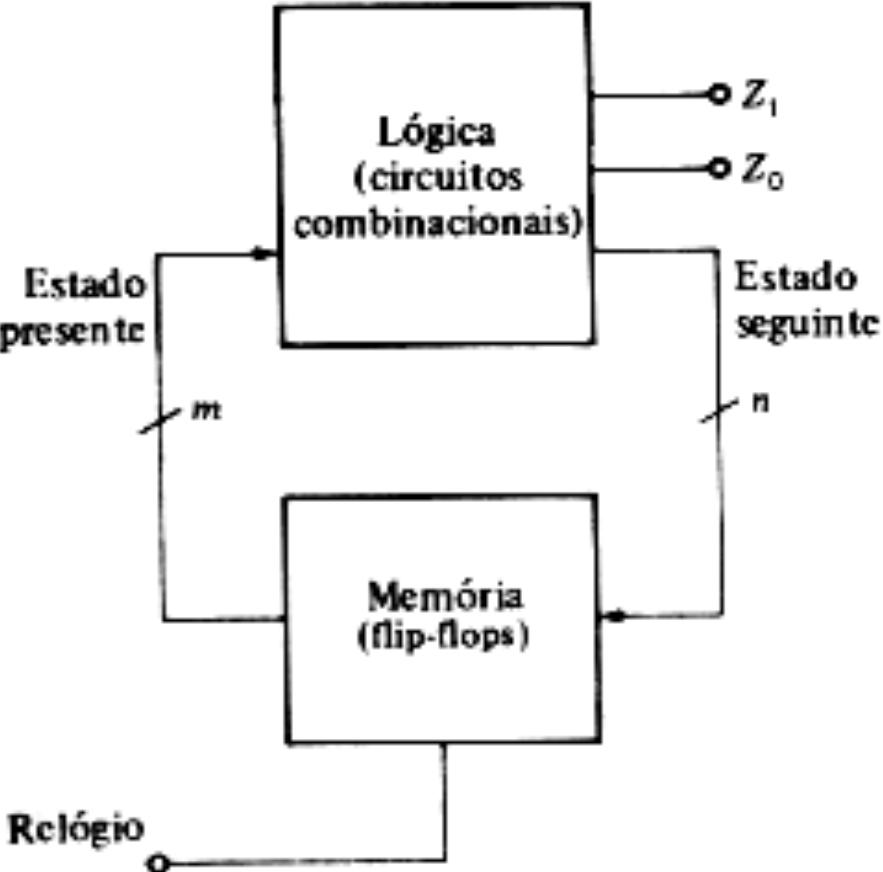
Formas de Representação

Tabela de Saída

Estado Presente	Saída $Z_1 Z_0$
0 0	0 0
0 1	0 1
1 0	1 0
1 1	1 1



Círcuito Sequencial - Contador



Síntese do circuito sequencial

Síntese do Circuito Sequencial

Tabela de Transição de Estados

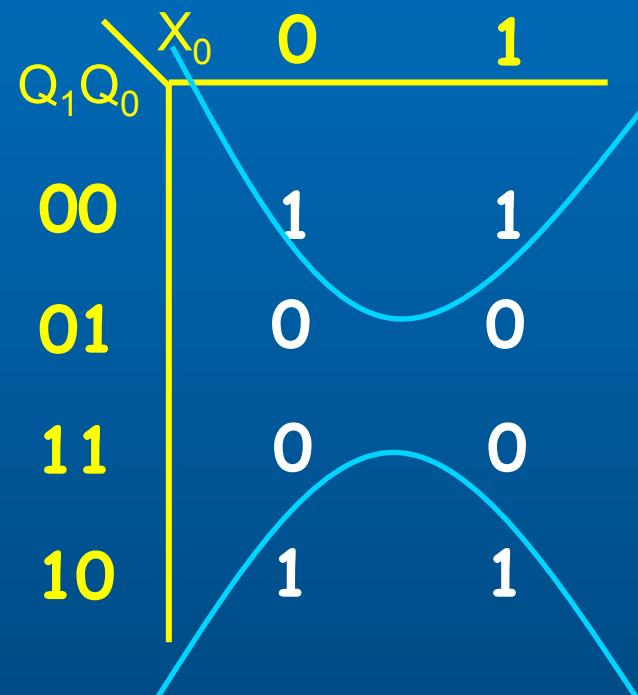
Entrada X_0	Estado Presente $Q_1 Q_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$	Memória (Entrada dos Flip-Flops) $D_1 D_0$
0	0 0	0 1	0 1
0	0 1	1 0	1 0
0	1 0	1 1	1 1
0	1 1	0 0	0 0
1	0 0	1 1	1 1
1	0 1	0 0	0 0
1	1 0	0 1	0 1
1	1 1	1 0	1 0

Flip-Flop D₁

X ₀	0	1
Q ₁ Q ₀	00	01
00	0	1
01	1	0
11	0	1
10	1	0

$$D_1 = X_0 \bar{Q}_1 \bar{Q}_0 + \bar{X}_0 \bar{Q}_1 Q_0 + X_0 Q_1 Q_0 + \bar{X}_0 Q_1 \bar{Q}_0$$

Flip-Flop D₀



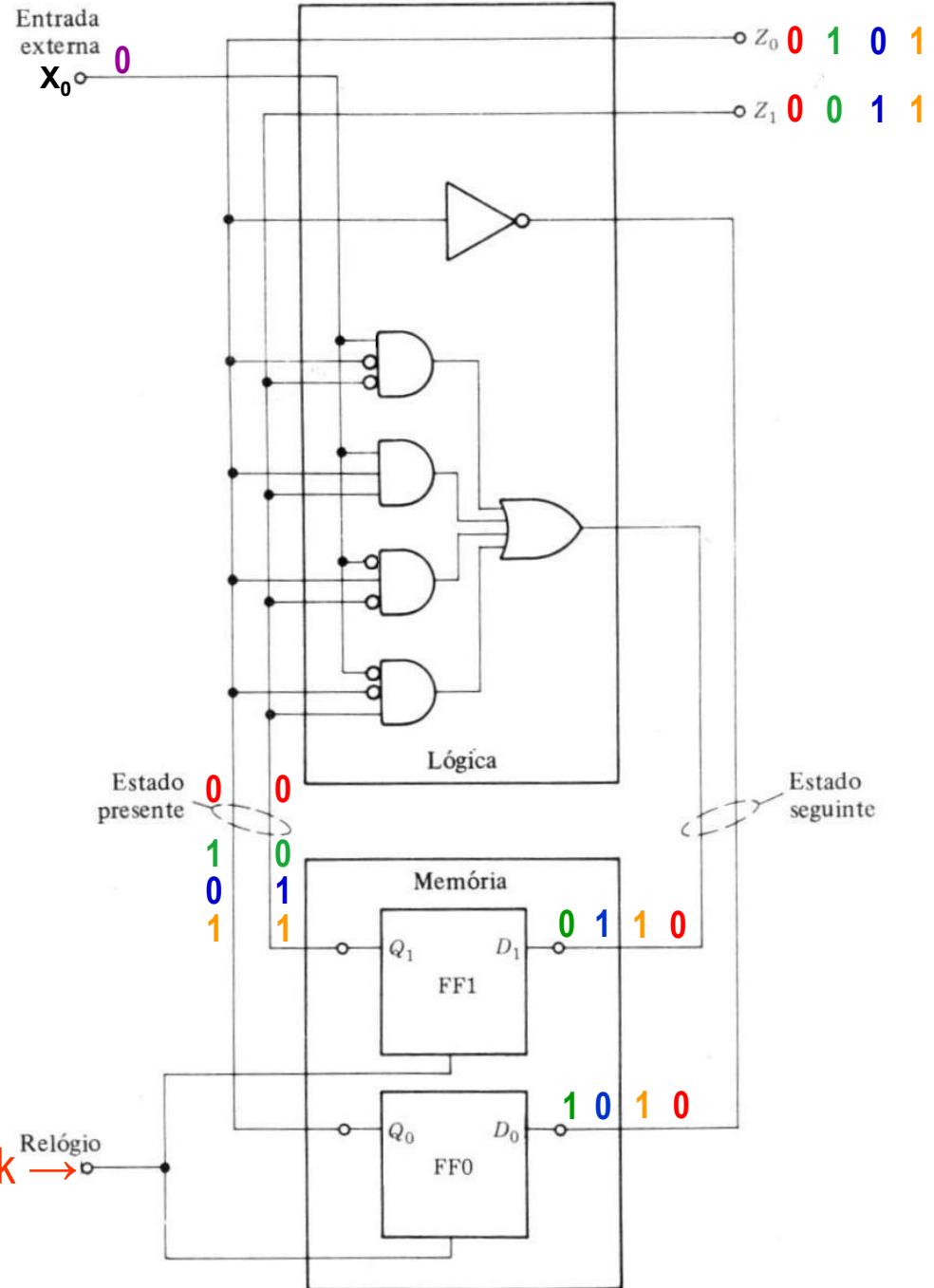
$$D_0 = \bar{Q}_0$$

Circuito Sequencial:

Contador
Módulo 4 Up/
Down

Máquina de
Moore

Pulso de Clock →

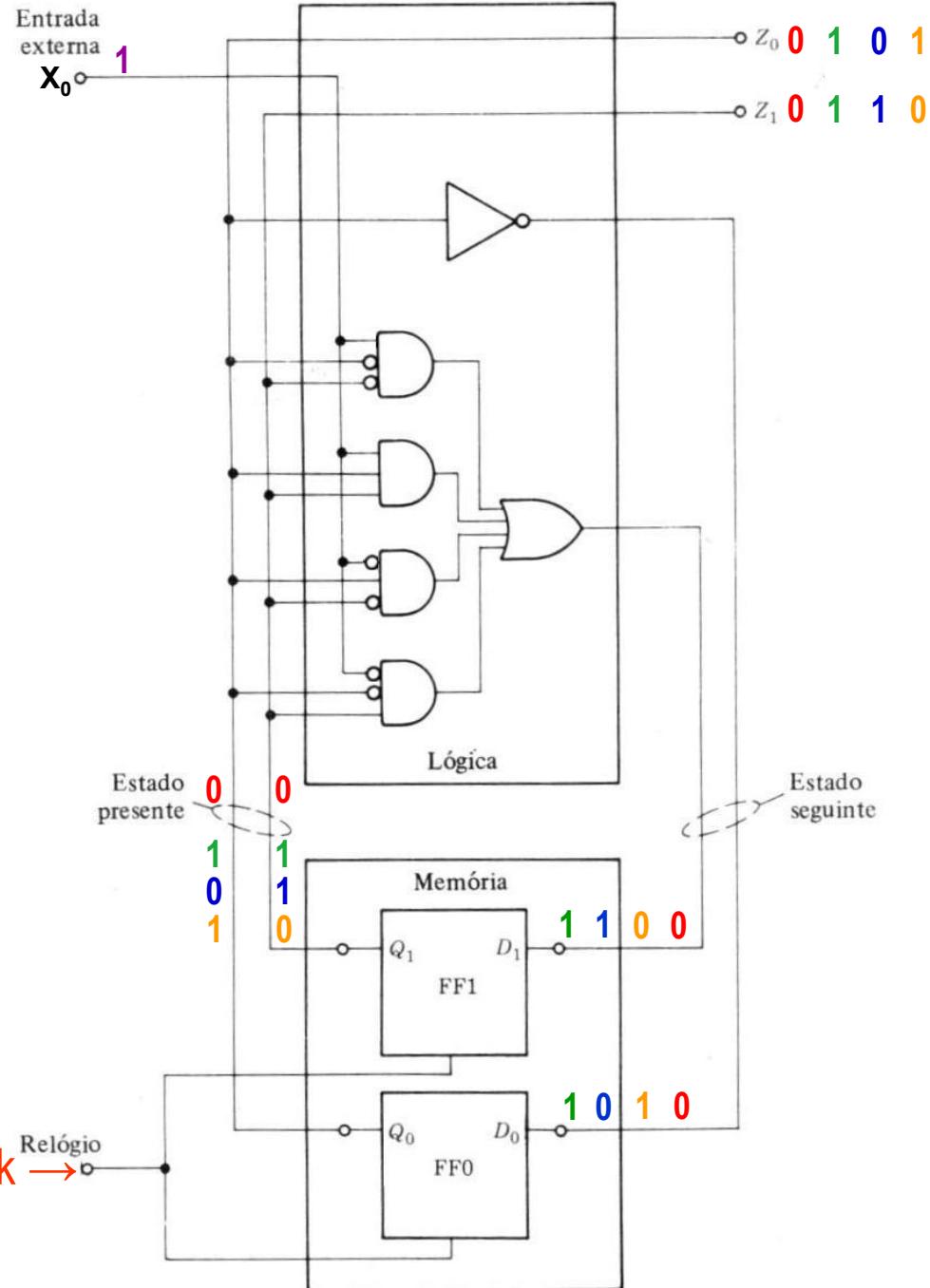


Circuito Sequencial:

Contador
Módulo 4 Up/
Down

Máquina de
Moore

Pulso de Clock →



Outro Exemplo

Projeto

- Um alarme soa quando houver 3 ou mais peças consecutivas na esteira;
- A esteira não é desligada;
- 1 Entrada (X) ($X = 0$ – não há peça)
($X = 1$ – há peça)
- 1 Saída (Z) ($Z = 0$ – não soa alarme)
($Z = 1$ – soa alarme)

Detector de Sequências

- Um alarme soa quando houver a sequência 111;

Entrada →

X	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1
Z																			

Saída →

Detector de Sequências

- Um alarme soa quando houver a sequência 111;

Entrada →	X	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1
Saída →	Z													1					1	1	1

Detector de Sequências

- Um alarme soa quando houver a sequência 111;

Entrada →

X	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1
Z	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0

Saída →

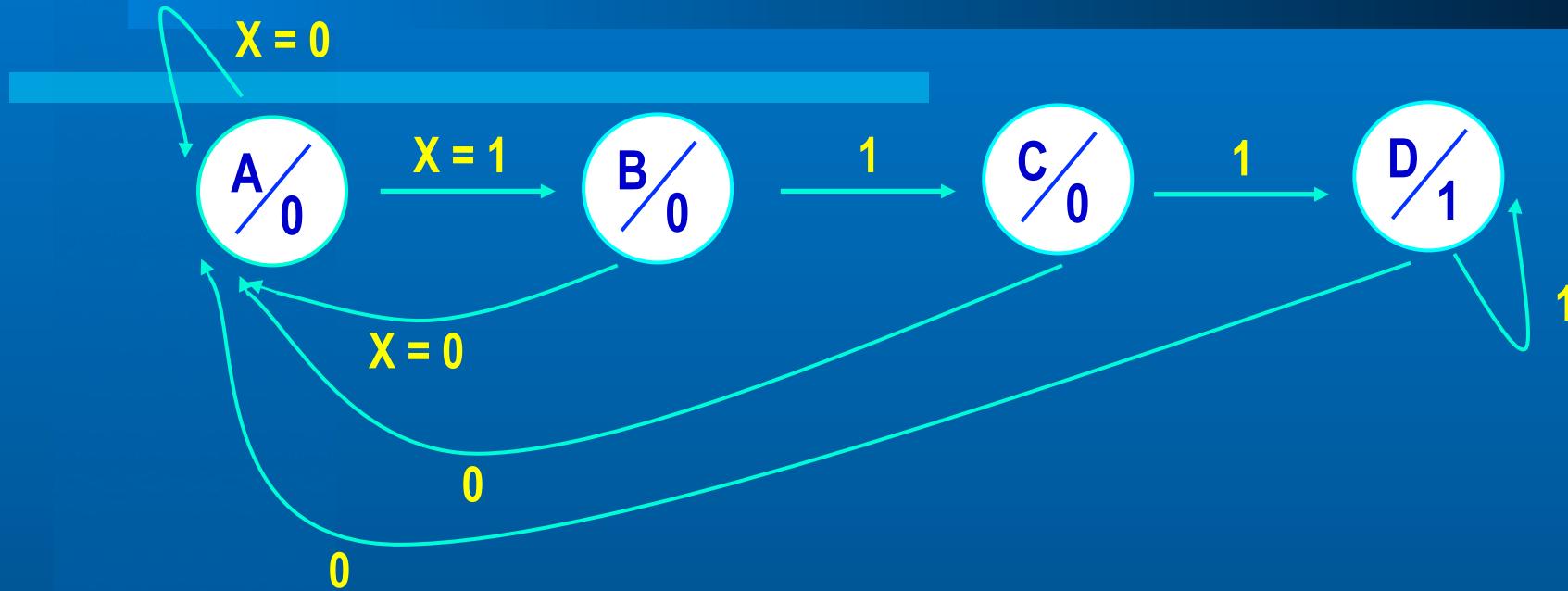
Síntese do Circuito Sequencial

- Máquina de Moore
- Detector da Sequência: 111;
- Síncrono: os FFs são ligados no mesmo “clock”;
- A entrada X não é ligada na saída Z.

Máquina de Moore

- A saída Z depende apenas do estado presente;
- A entrada X está conectada apenas às entradas dos Flip-Flops;
- Não há ligação direta entre X e Z ;
- Durante o ciclo de “clock”, as variações em X não afetarão diretamente a saída do sistema;
- Mas podem afetar os estados futuros.

Diagrama de Estados



- MOORE:
 - a saída depende exclusivamente do estado;
 - a entrada só interfere no próximo estado.

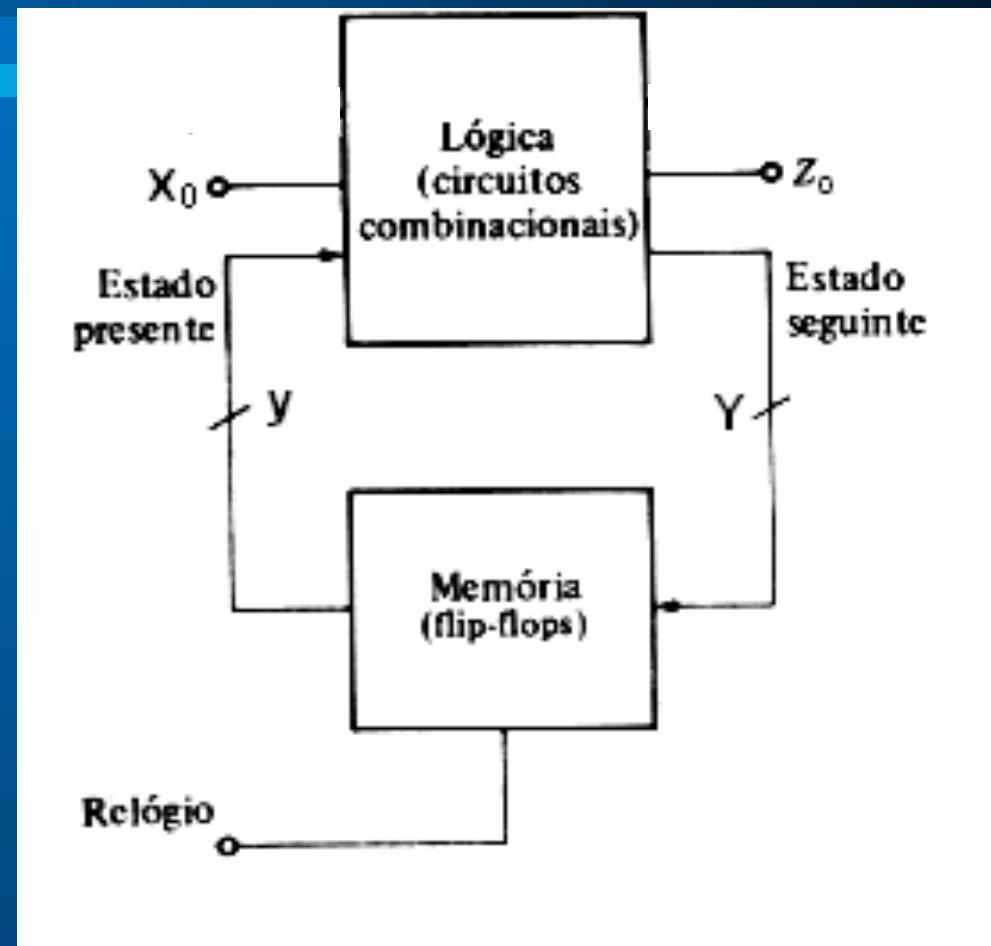
Máquina de Moore

- Quantos estados? 4
- A – nenhuma peça
- B – uma peça
- C – duas peças
- D – três peças (**tocar o alarme!**)

Formas de Representação

Tabela de Atribuição de Estados

Estado	Flip-Flop $Q_1 Q_0$
A	0 0
B	0 1
C	1 0
D	1 1



Saídas dos Flips-Flops (Q) = Estado Presente (y) - Diferente da Saída (Z)

Atribuição de Estados

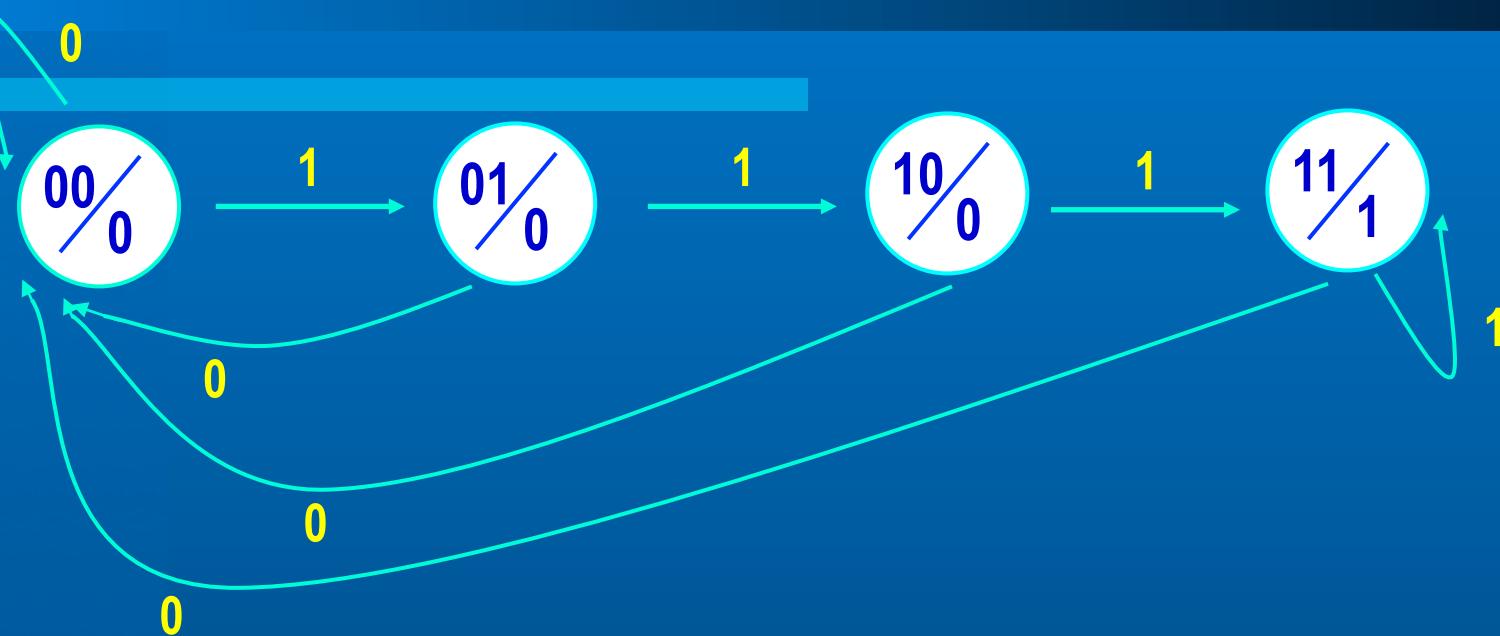


Tabela de Transição de Estados

Entrada X_0	Estado Atual $Q_1 Q_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$
0	A	A
0	B	A
0	C	A
0	D	A
1	A	B
1	B	C
1	C	D
1	D	D

Tabela de Transição de Estados

Atribuição de estados

Entrada X_0	Estado Atual $Q_1 Q_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$
0	0 0	0 0
0	0 1	0 0
0	1 0	0 0
0	1 1	0 0
1	0 0	0 1
1	0 1	1 0
1	1 0	1 1
1	1 1	1 1

Transição de Estados para Flip-Flops

Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	J	K
0 → 0	0	X
0 → 1	1	X
1 → 0	X	1
1 → 1	X	0

Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	D
0 → 0	0
0 → 1	1
1 → 0	0
1 → 1	1

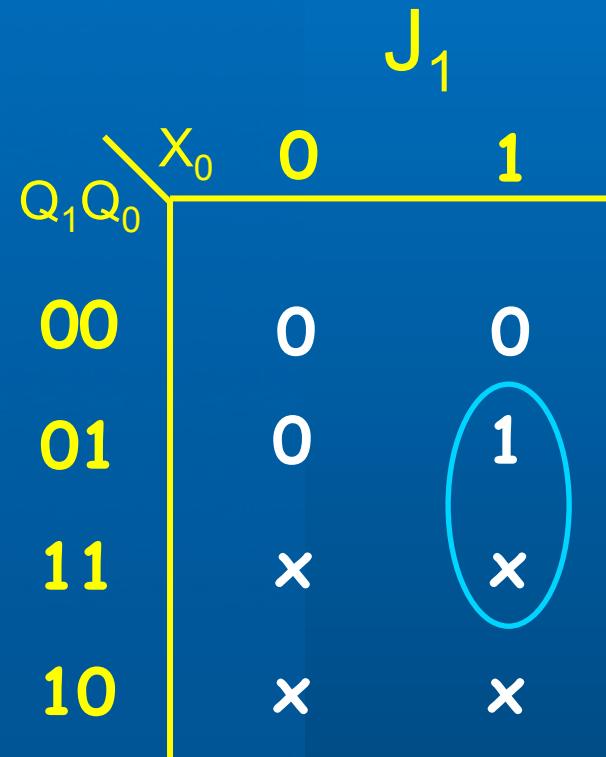
Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	T
0 → 0	0
0 → 1	1
1 → 0	1
1 → 1	0

Tabela de Transição de Estados

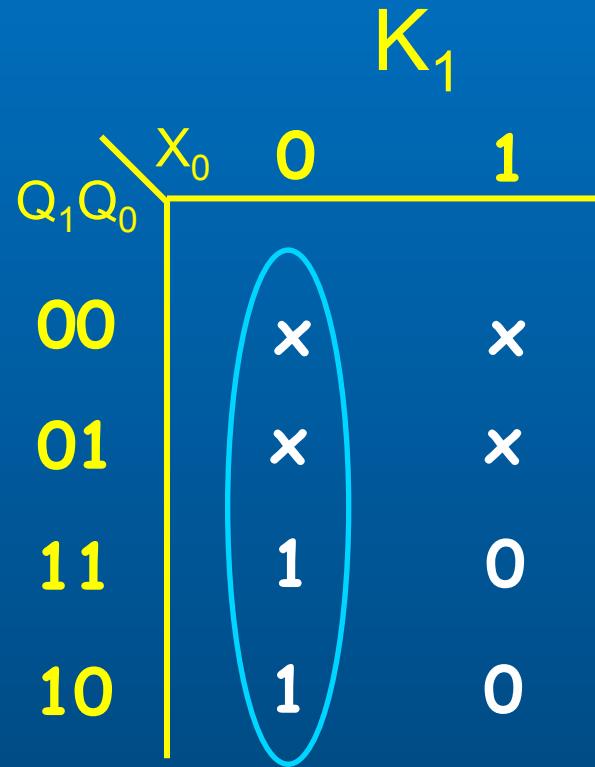
Síntese do Circuito Sequencial

Entrada X_0	Estado Atual $Q_1 Q_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$	Flip-Flop 1 $J_1 K_1$	Flip-Flop 0 $J_0 K_0$
0	0 0	0 0	0 X	0 X
0	0 1	0 0	0 X	X 1
0	1 0	0 0	X 1	0 X
0	1 1	0 0	X 1	X 1
1	0 0	0 1	0 X	1 X
1	0 1	1 0	1 X	X 1
1	1 0	1 1	X 0	1 X
1	1 1	1 1	X 0	X 0

Flip-Flop 1

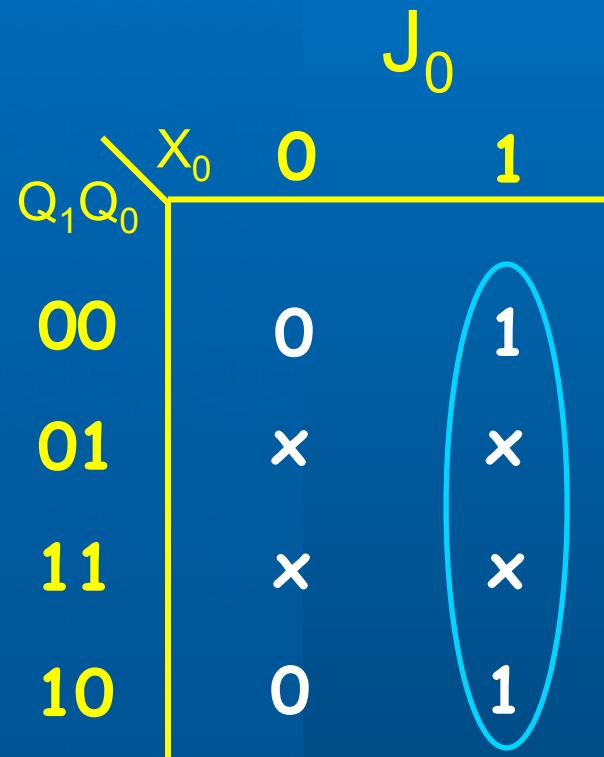


$$J_1 = X_0 Q_0$$

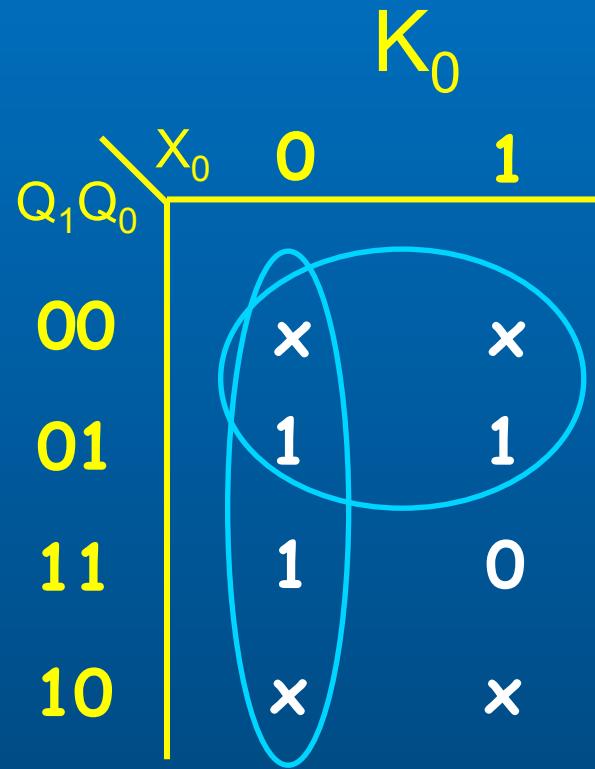


$$K_1 = \overline{X_0}$$

Flip-Flop 0



$$J_0 = X_0$$

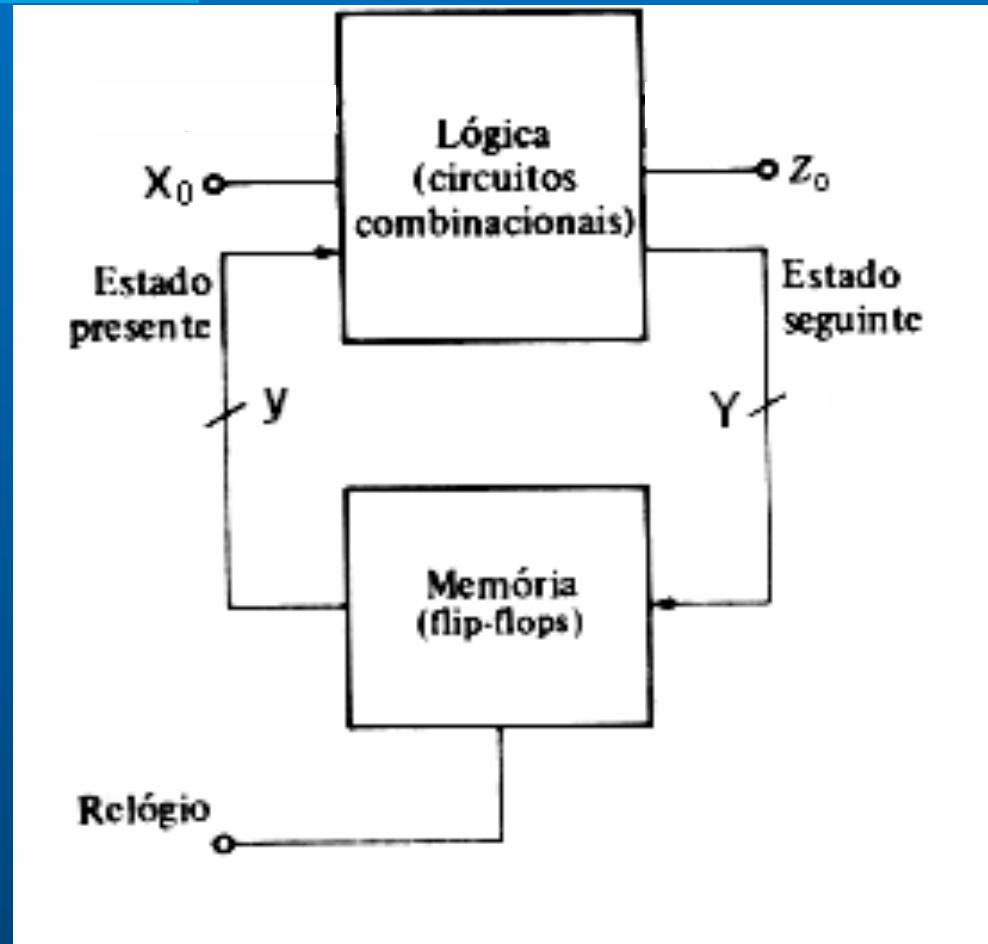


$$K_0 = \overline{X}_0 + \overline{Q}_1$$

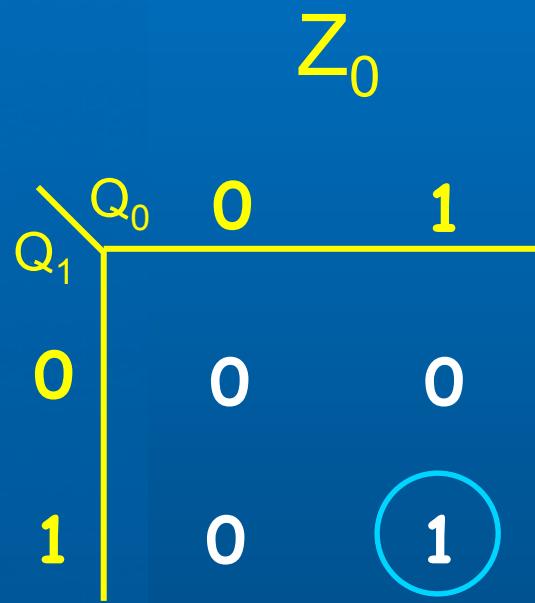
Formas de Representação

Tabela de Saída

Estado Presente	Saída Z_0
A	0
B	0
C	0
D	1



Saída Z_0

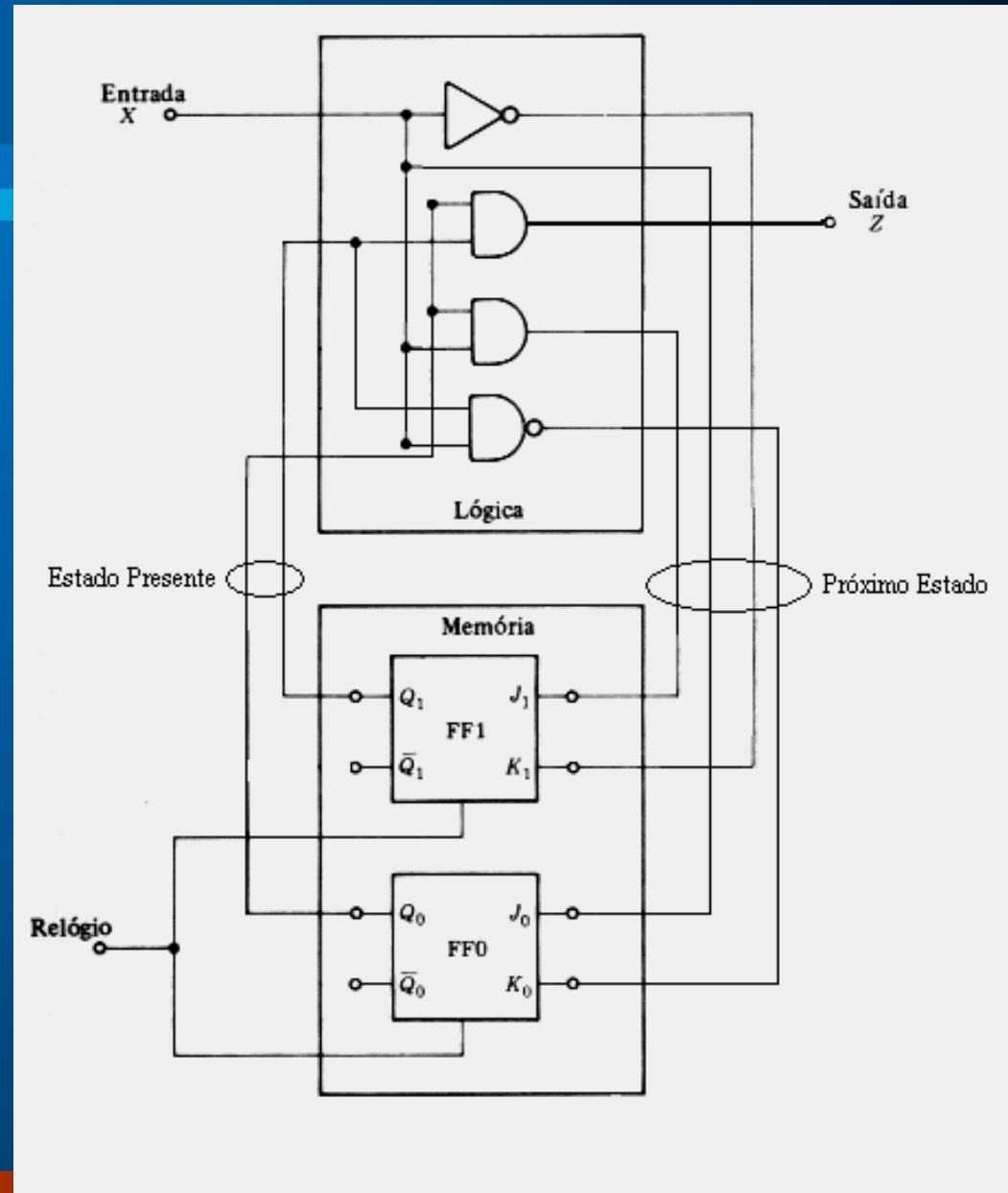


$$Z_0 = Q_0 Q_1$$

- Máquina de MOORE:
 - a saída depende exclusivamente do estado presente;
 - a entrada não interfere na saída;

Síntese do Circuito - Moore

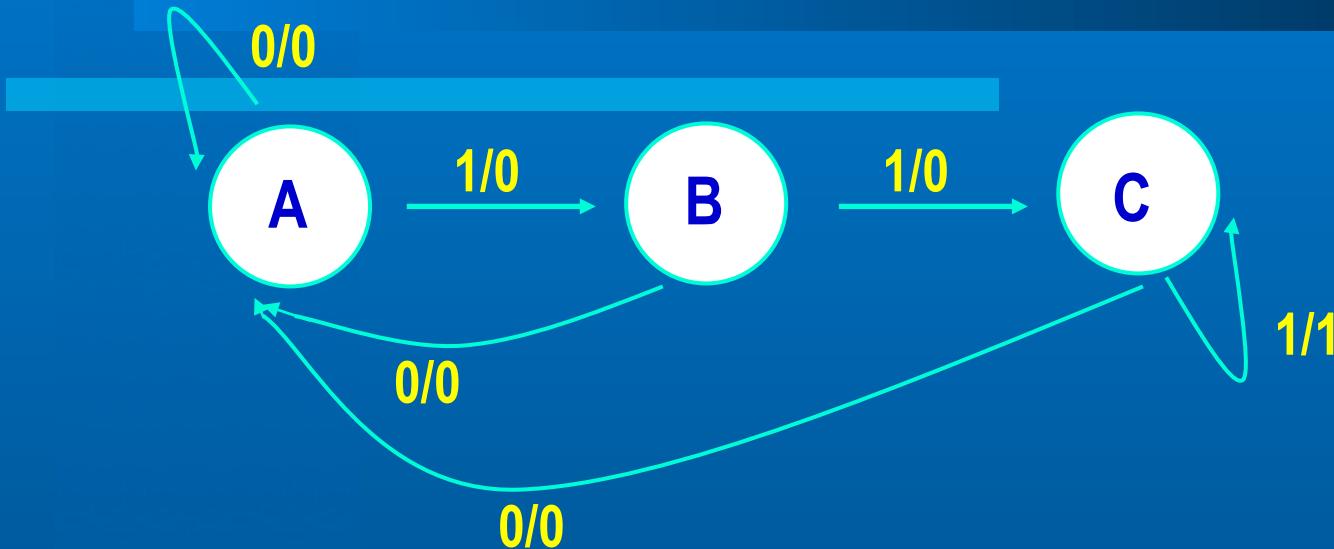
- Detector da Sequência: 111;
- Síncrono: os FFs são ligados no mesmo “clock”;
- A entrada X não interfere diretamente na saída Z.



Máquina de Mealy

- Z depende do estado da máquina e da entrada;
- A entrada (X) está conectada às entradas dos Flip-Flops e também à saída externa Z;
- Há ligação direta entre X e Z;
- Durante o ciclo de “clock”, as variações em X afetarão assincronamente a saída do circuito.

Diagrama de Estados



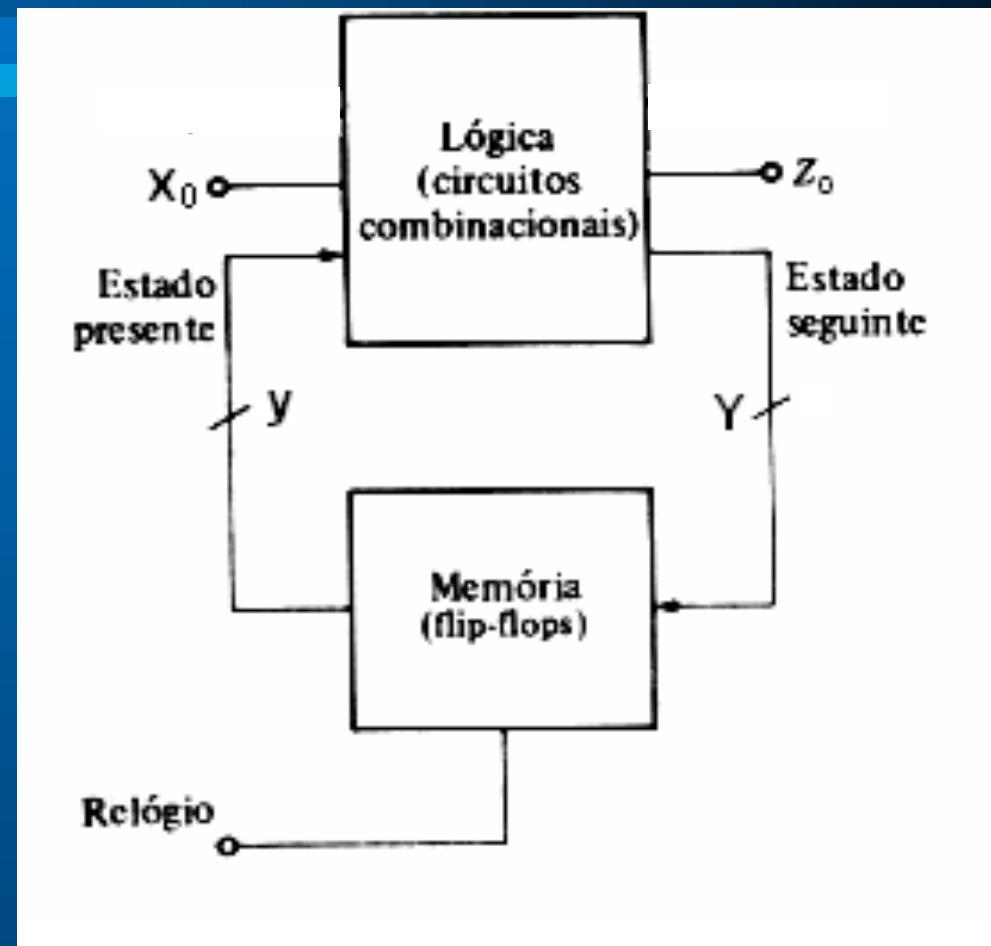
- Máquina de Mealy

- Um Estado a menos!

Atribuição de Estados

Máquina de Mealy

Estado	Flip-Flop $Q_1 Q_0$
A	0 0
B	0 1
C	1 0



Saídas dos Flips-Flops (Q) = Estado Presente (y) - Diferente da Saída (Z)

Atribuição de Estados



- MEALY:

- A saída depende do estado anterior e da entrada;
- A entrada interfere no próximo estado e na saída.

Tabela de Transição de Estados

Entrada X_0	Estado Atual $Q_1 Q_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$
0	A	A
0	B	A
0	C	A
1	A	B
1	B	C
1	C	C

Tabela de Transição de Estados

Atribuição de estados

Entrada X_0	Estado Atual $Q_1 Q_0$	Próximo Estado $Y_1 Y_0$
0	0 0	0 0
0	0 1	0 0
0	1 0	0 0
1	0 0	0 1
1	0 1	1 0
1	1 0	1 0

Transição de Estados para FF JK

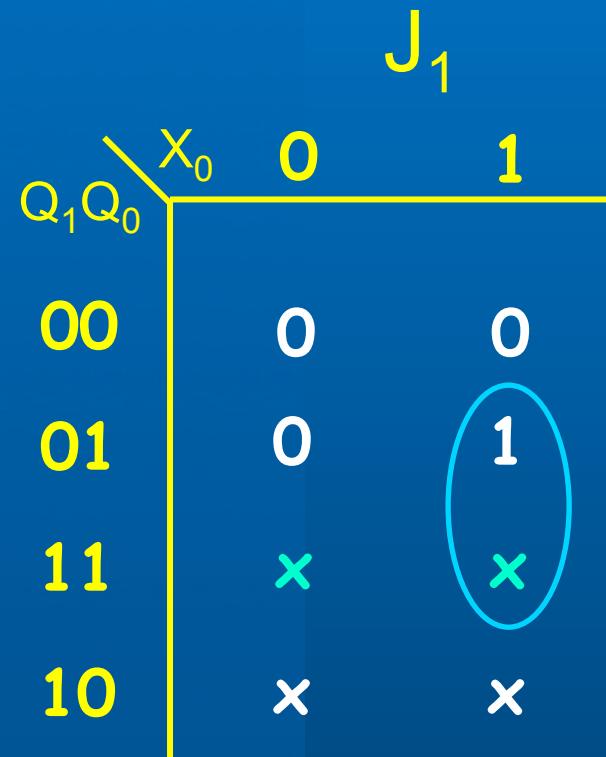
Transição $Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	J	K
0 → 0	0	X
0 → 1	1	X
1 → 0	X	1
1 → 1	X	0

Tabela de Transição de Estados

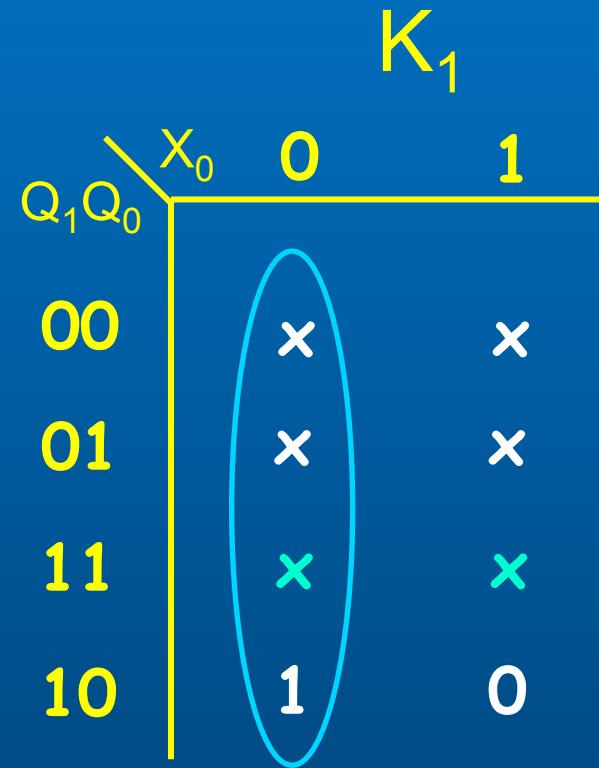
Síntese do Circuito Sequencial

Entrada X_0	Estado Atual Q_1Q_0	Próximo Estado Y_1Y_0	Flip-Flop 1 $J_1 K_1$	Flip-Flop 0 $J_0 K_0$
0	0 0	0 0	0 X	0 X
0	0 1	0 0	0 X	X 1
0	1 0	0 0	X 1	0 X
1	0 0	0 1	0 X	1 X
1	0 1	1 0	1 X	X 1
1	1 0	1 0	X 0	0 X

Flip-Flop 1

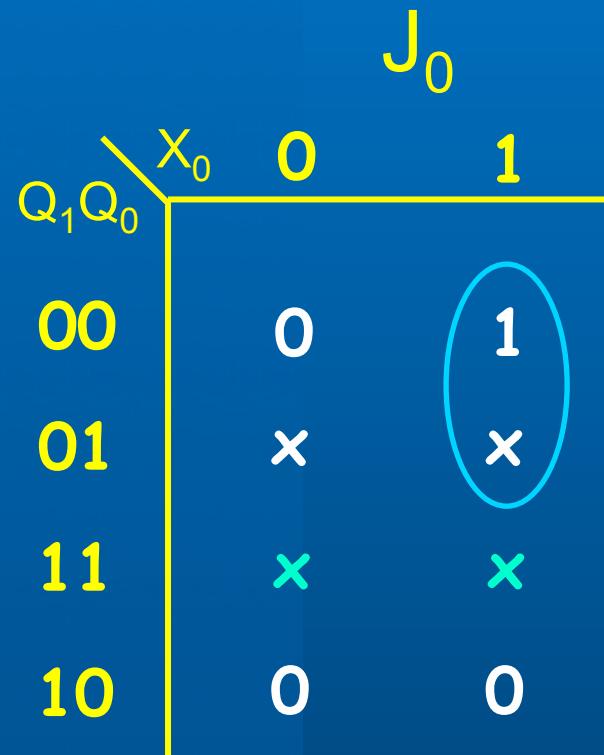


$$J_1 = X_0 Q_0$$

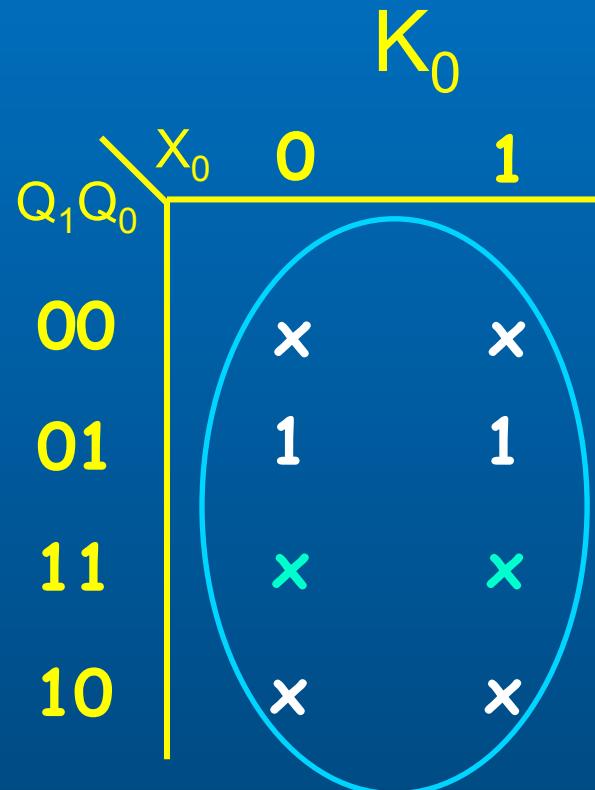


$$K_1 = \overline{X_0}$$

Flip-Flop 0



$$J_0 = X_0 \bar{Q}_1$$



$$K_0 = 1$$

Formas de Representação

Tabela de Saída

Entrada X_0	Estado Atual $Q_1 Q_0$	Saída Z_0
0	0 0	0
0	0 1	0
0	1 0	0
1	0 0	0
1	0 1	0
1	1 0	1

Saída Z_0

		Z_0	
		0	1
		00	0
01		0	0
11		x	x
10		0	1

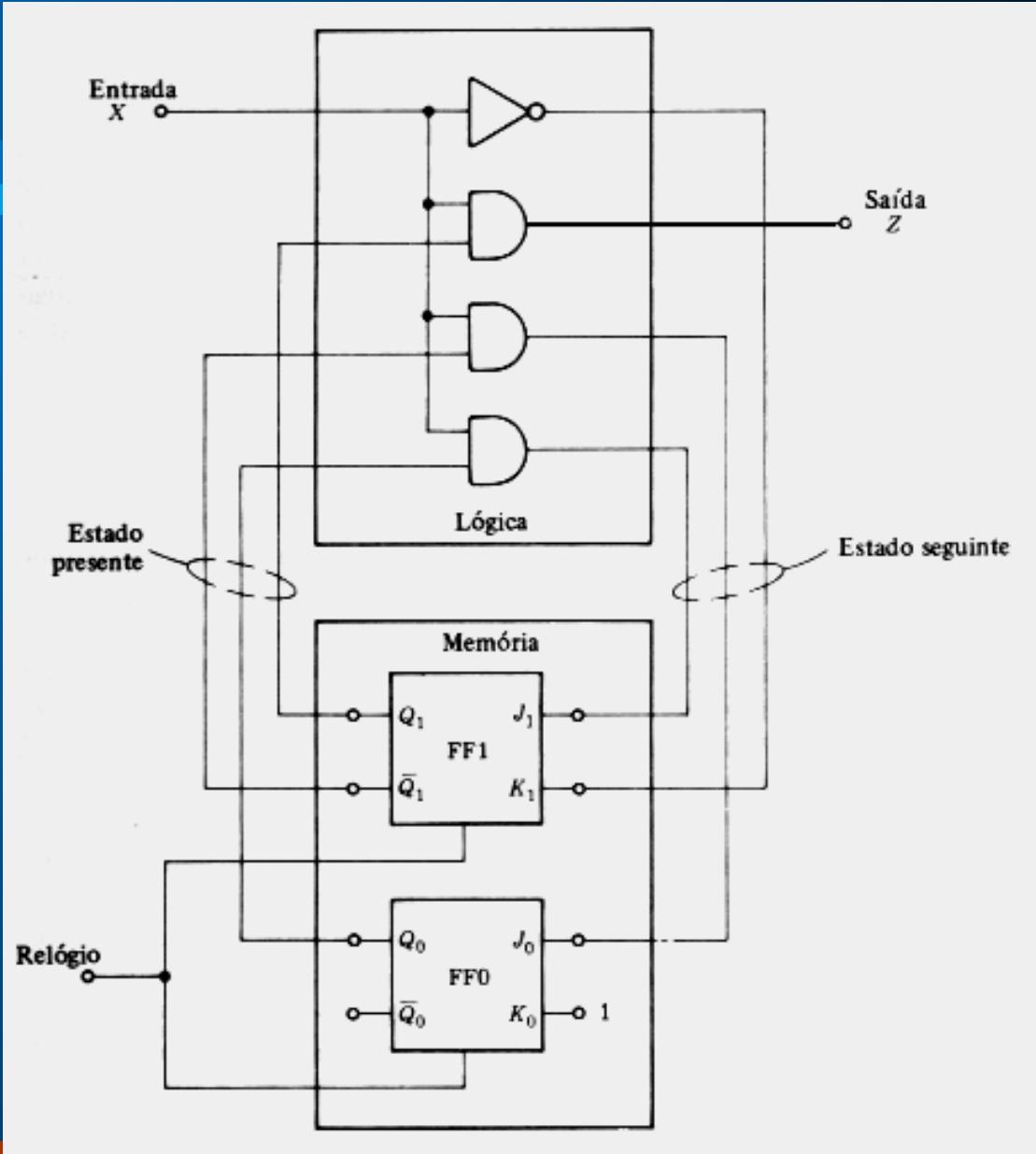
$$Z_0 = X_0 Q_1$$

- Máquina de MEALY:

- a saída depende do estado presente e da entrada;
- a entrada interfere assincronamente na saída;

Síntese do Circuito - Mealy

- Detector da Sequência: 111;
- Síncrono: os FFs são ligados no mesmo “clock”;
- A entrada X interfere diretamente na saída Z.



Moore ou Mealy?

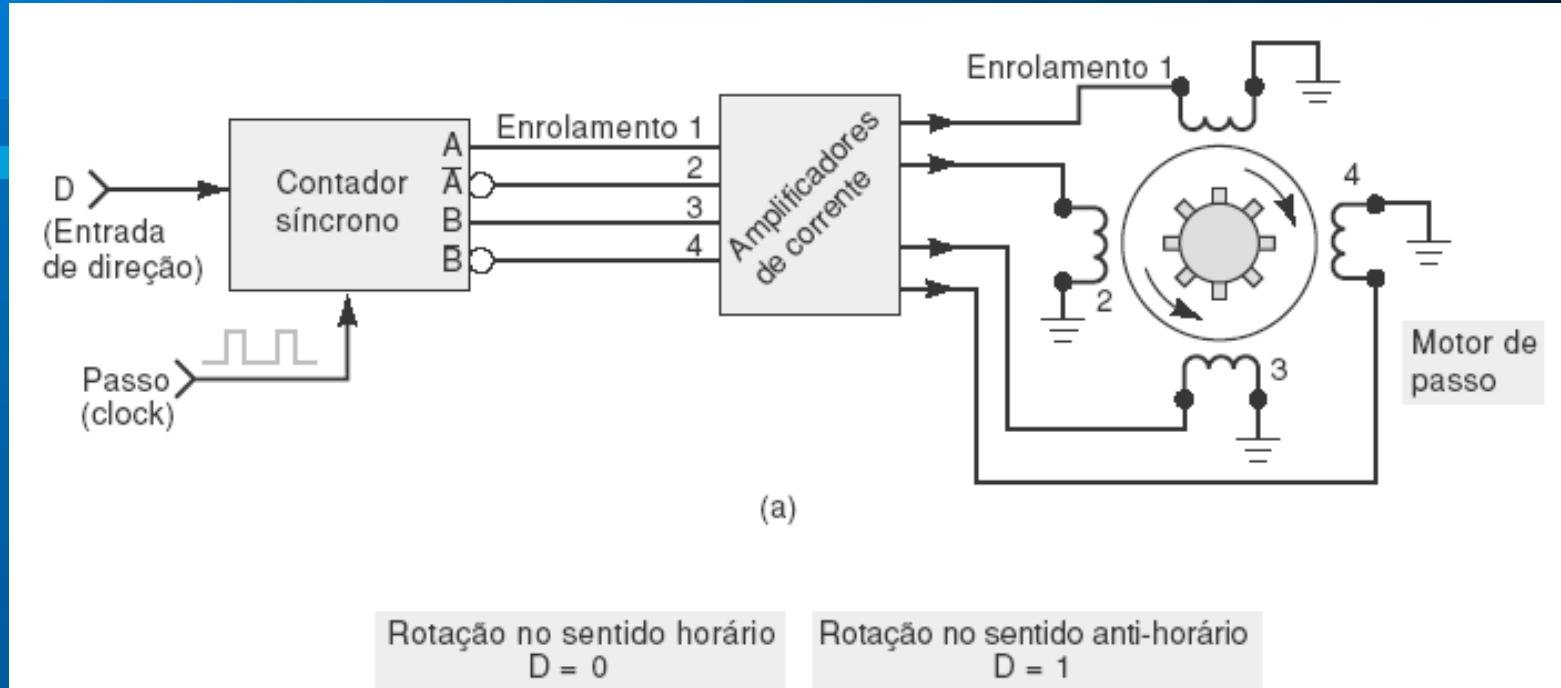
- Em geral, a versão Mealy de um circuito sequencial será mais econômica de componentes físicos (*hardware*) do que a versão Moore;
- Como a saída depende da entrada, valores incorretos na entrada durante o ciclo de “clock” podem afetar a saída;
- Isso pode não ocorrer na versão Moore, pois alterações na saída e no estado só ocorrem na transição do “clock” (melhor sincronismo)

Exercícios

Projeto 1: Detector de Bordas

- Fazer um circuito sequencial síncrono para detectar uma borda de subida seguida de uma borda de descida.
- O circuito tem uma entrada e uma saída, que deve ir para nível lógico 1 quando a sequência desejada for detectada
- Pode haver superposição de sequências
- Usar máquina de Mealy e FF tipo D

Projeto 2: Controle de motor de passo



Sequência das bobinas no sentido horário: (1 e 3) – (2 e 3) – (2 e 4) – (1 e 4);

Sequência das bobinas no sentido anti-horário: (1 e 3) – (1 e 4) – (2 e 4) – (2 e 3);

Fazer diagrama de estados, tabela de transição de estados e projetar o circuito – Usar FF tipo JK e Máquina de Moore

Projeto 2: Resposta

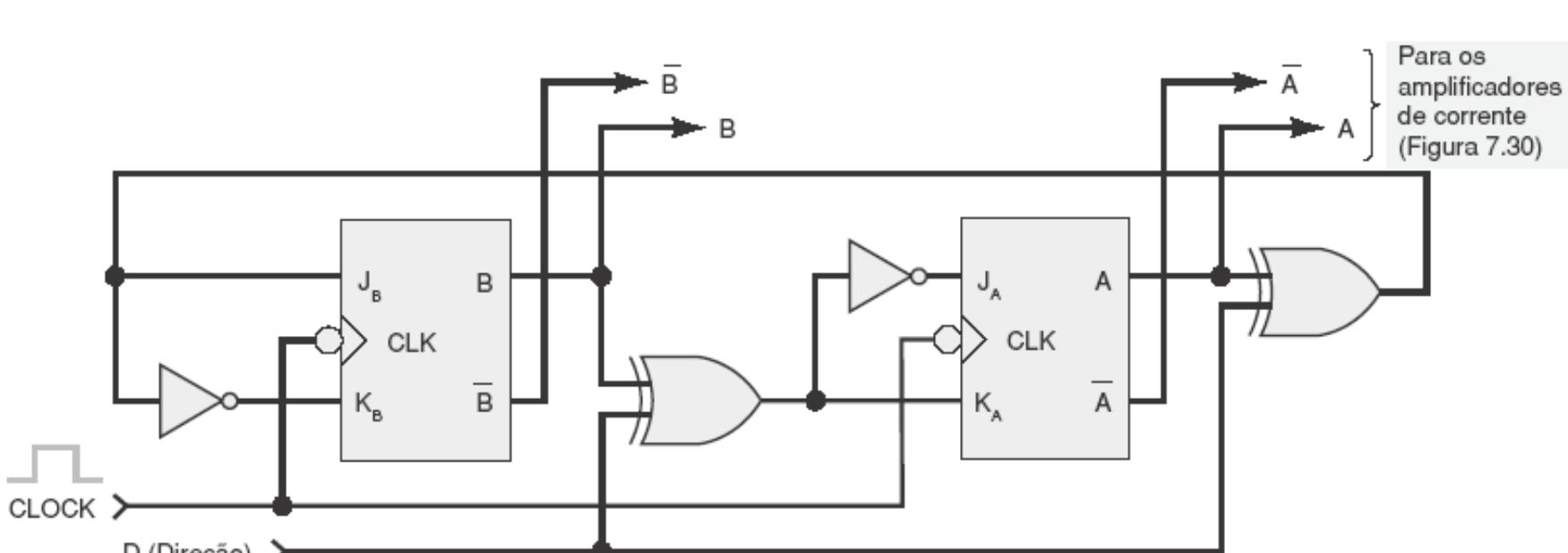


FIGURA 7.32

Contador síncrono implementado a partir das equações para J e K .

Projeto 3: Contador síncrono módulo 5

- Montar um contador síncrono crescente de módulo 5
 - Fazer diagrama de estados, tabela de transição de estados e projetar o circuito
 - Usar FF tipo D
 - Máquina de Moore

Projeto 3: Resposta

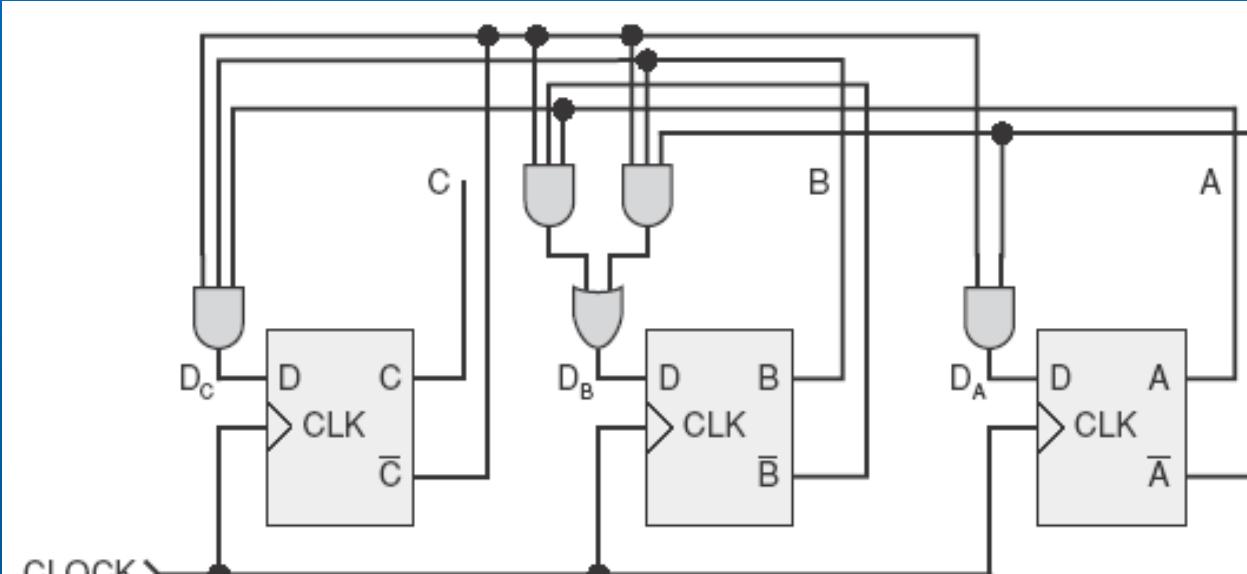
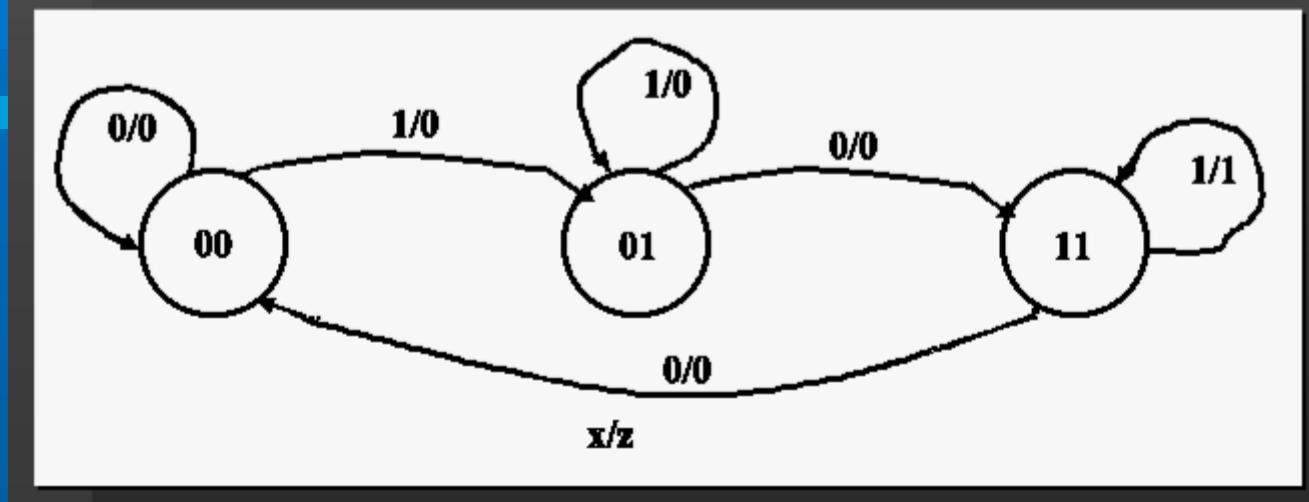


FIGURA 7.34
Implementação do circuito do projeto de um contador flip-flop de módulo 5.

Projeto 4: Análise do diagrama de estados



Máquina de Moore ou Mealy?

Fazer a tabela de transição de estados

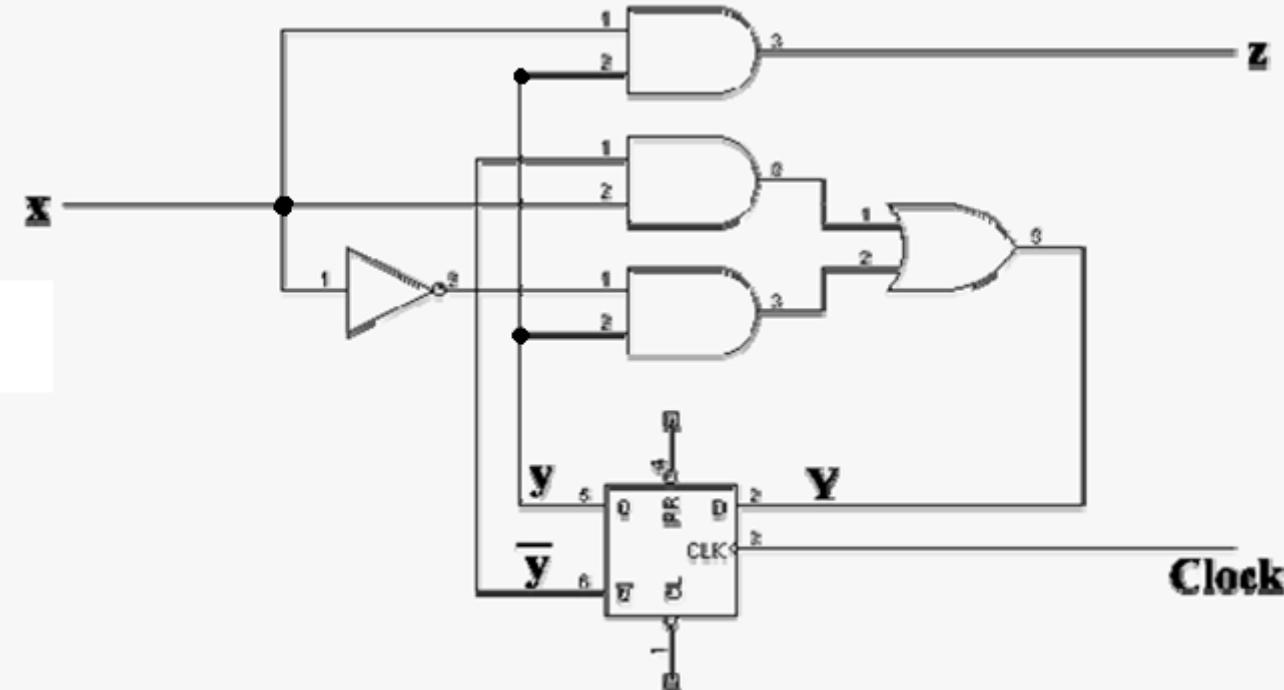
Projetar o circuito – Usar FF tipo JK

Tabela de Transição de Estados

Síntese do Circuito Sequencial

Entrada X_0	Estado Atual Q_1Q_0	Próximo Estado Y_1Y_0	Flip-Flop 1 J_1, K_1	Flip-Flop 0 J_0, K_0	Saída Z_0
0	0 0	0 0	0 X	0 X	0
0	0 1	1 1	1 X	X 0	0
0	1 1	0 0	X 1	X 1	0
1	0 0	0 1	0 X	1 X	0
1	0 1	0 1	0 X	X 0	0
1	1 1	1 1	X 0	X 0	1

Projeto 5: Análise do Circuito Sequencial Síncrono



Máquina de Moore ou Mealy?

Fazer o diagrama de estados e a tabela de transição de estados

Projetar outro circuito – Substituir o FF tipo D por FF JK

Diagrama de estados

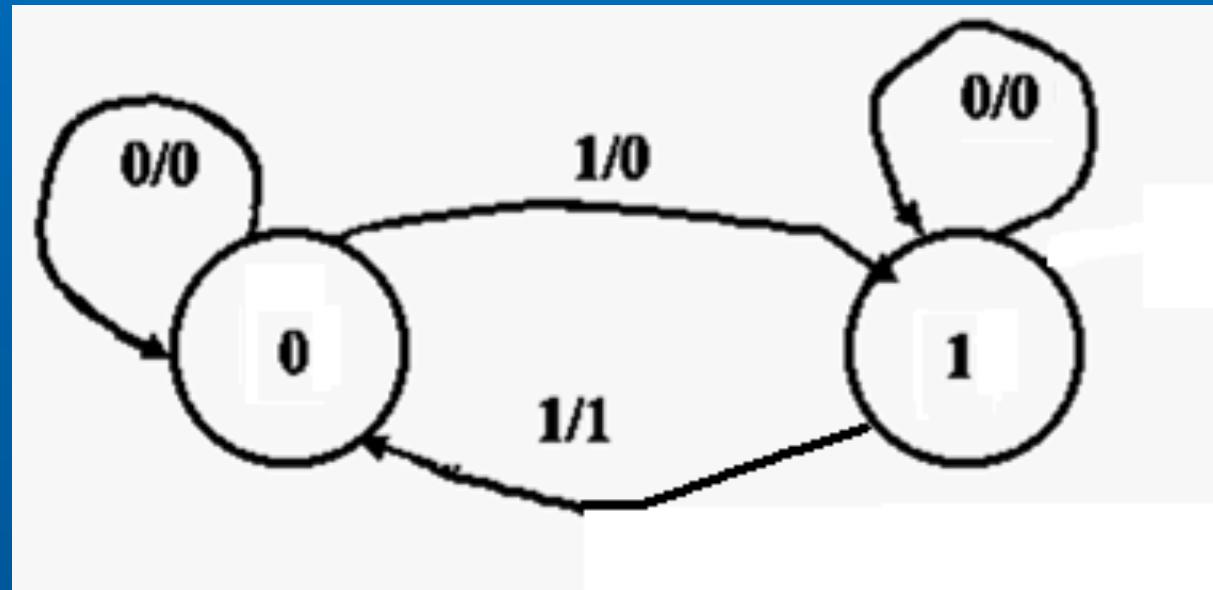


Tabela de Transição de Estados

Síntese do Circuito Sequencial

Entrada X_0	Estado Presente Q_0	Próximo Estado Y_0	Flip-Flop $J_0 \ K_0$	Saída Z_0
0	0	0	0 X	0
0	1	1	X 0	0
1	0	1	1 X	0
1	1	0	X 1	1

FIM